

Zdeněk KALÁB¹, Jaromír KNEJZLÍK²

MOŽNOSTI POSOUZENÍ EFEKTU ZESÍLENÍ SEIZMICKÝCH VLN V ZASTAVĚNÝCH OBLASTECH

POSSIBILITY OF SITE EFFECT EVALUATION IN URBAN AREAS

Abstract

Sometimes, unexpected seismic effect is detected in surface building due mining induced seismicity in Karviná area. Local geological pattern, especially sedimentary layers, belongs to one of the most important factor that influences amplification value of seismic waves. To evaluate site effect, Nakamura method of H/V spectral ratio is often used. This paper summarizes knowledge from urban area and basic conditions in area under discussion.

Key words: site effect, urban area, mining induced seismicity

Úvod

Záznamy zemětřesení pořízené na lokalitách, na nichž jsou senzory umístěny na sedimentárním podkladu, mají větší maximální amplitudy než záznamy z lokalit se senzory na skalních horninách. Dominantním jevem, který řídící zesílení vibrací v sedimentárních vrstvách pokrývajících pevný horninový masív, je koncentrace seizmické energie v sedimentech v důsledku výrazného rozdílu vlnových odporů sedimentů a horninového masívu. Tento jev je maximalizován, jsou-li odrážející se vlny mezi sebou vzájemně ve fázi. Interference těchto vln vede k rezonanci, která se projevuje maximálními amplitudami kmitání. Pro hodnocení efektu zesílení seizmických vln v daném místě, tzv. site effect, je mj. využívána metoda, která vychází z poměru spektra horizontální ku spektru vertikální složky záznamu (níže metoda H/V). Zatímco spektrální poměry H a V složek ze záznamů na stanovištích na skalním podkladu vykazují hodnoty okolo jedné, na záznamech z lokalit se sedimenty se objevují více či méně významné píky s frekvencí charakterizující mocnost sedimentů. Princip metody byl podrobněji popsán v mnohých příspěvcích, např. Borcherdta (1970), Nakamury (1989) nebo Abotta et al. (2001). Metoda je dnes velice populární a dočkala se celé řady modifikací, které byly prezentovány například na konferencích v rámci 30. generálního zasedání Evropské seizmologické komise v Ženevě v roce 2006.

Cílem tohoto příspěvku je shrnout příklady vhodných aplikací metody H/V v zastavěných oblastech. Motivací článku je studium vlastností povrchových projevů důlně indukovaných seizmických jevů na Karvinsku. Z dat Seismického polygonu DPB je pro interní potřeby pro intenzivní jevy vypočítáváno vlnové pole rychlostí kmitání na povrchu, které představuje maximální hodnoty rychlostí kmitání S vln. Toto pole popisuje základní charakter rozložení maximálních rychlostí (do výpočtu vlnového pole kromě měřených hodnot a parametrů horninového prostředí vstupuje informace o mechanismu vzniku jevu), nemůže však postihnout detailní změny způsobené například změnou lokální geologie (např. Holečko et al., 2006). Seizmologická měření v povrchových objektech a další seizmologické experimenty prokázaly, že i na Karvinsku existují zóny se zvýšenými nebo sníženými makroseismickými projevy na povrchu.

Vliv sedimentárních vrstev na seizmické vlnění v zastavěných oblastech

Analýzou záznamů zemětřesení z analyzovaného místa a z nedalekého referenčního místa, které má snímače instalovány na horninovém masívu (Borcherd, 1970), můžeme získat informaci o mocnosti sedimentů na tomto místě. K dostatečně přesným numerickým výsledkům je nezbytné mít k dispozici detailní znalosti parametrů, které do výpočtu vstupují:

¹ Doc. RNDr., CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, Ostrava, kalab@ugn.cas.cz, též VŠB - Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební, L. Poděště 1875, Ostrava

² Ing., CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, Ostrava, knejzlik@ugn.cas.cz

- ☐ mělká podpovrchová geologie,
- ☐ lithostratigraficko-geotechnické jednotky,
- ☐ hydrogeologický režim,
- ☐ fyzikální vlastnosti a parametry vrstev a souvrství,
- ☐ mechanické a hydraulické vlastnosti souvrství při seizmickém zatížení.

Záznamy zemětřesení pořízené v lokalitě se sedimentárním pokryvem jsou totiž „složenou informací“, která koncentruje zdrojovou funkci, cestu šíření seizmické energie a efekt lokální geologické stavby na vlnové pole ve studovaném místě (např. Ansal, 2004). Výslednou amplitudu na daném místě $r(t)$ (reprezentovanou pohybem, rychlostí nebo zrychlením) získáme v časové oblasti konvolucí uvedených faktorů:

$$r(t) = e(t) * p(t) * s(t),$$

přičemž $e(t)$ je zdrojový signál, $p(t)$ je funkce charakterizující šíření vibrací ze zdroje k analyzovanému místu a $s(t)$ je funkce představující efekt zesílení seizmických vln v důsledku sedimentárních vrstev v místě měření. Do frekvenční oblasti je výše uvedená rovnice převedena pomocí Fourierovy transformace jednotlivých časově závislých funkcí, tj.

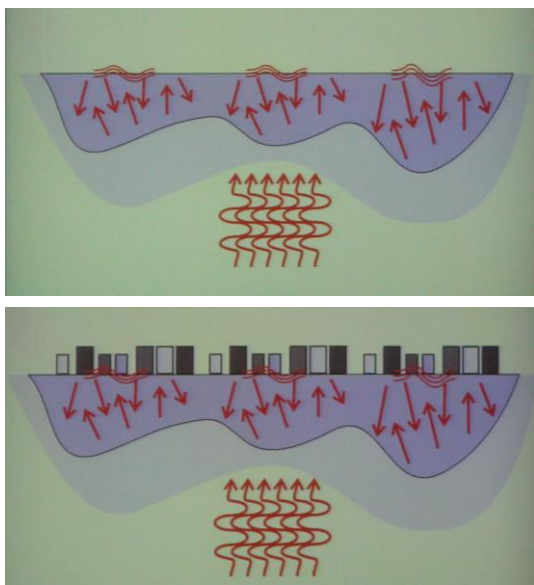
$$R(f) = E(f) \cdot P(f) \cdot S(f).$$

Posledně jmenovaný člen ($s(t)$ či $S(f)$) charakterizuje efekt zesílení seizmických vln, který můžeme specifikovat následovně: Přípovrchová lokální geologie (zvláště sedimenty) a povrchová topografie modifikují charakteristiky (amplitudy, frekvenční obsah a trvání) přicházejícího signálu, což vede k zesilování či zeslabování seizmických vln v daném místě. Nejčastější kvalitativní a kvantitativní odhad efektu zesílení je často presentován faktorem zesílení a základní (nebo vyšší harmonickou složkou) rezonanční frekvenci.

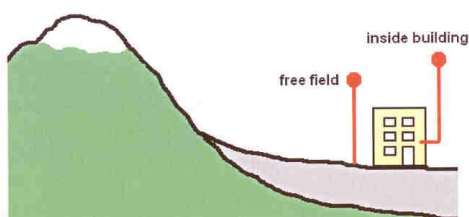
Alternativní přístup umožňující charakterizovat efekt zesílení seizmických vln v oblastech se slabou seizmickou aktivitou a v zastavěných oblastech zahrnuje použití metody spektrálních poměrů ze záznamů slabých zemětřesení a okolních šumů (seizmického neklidu). Šumem rozumíme vibrace s malou amplitudou, které jsou generovány různými přírodními zdroji, např. větrem a přílivem moře, a vibrace vyvolané lidskou činností jako je doprava, průmyslové zdroje, domácí přístroje ... Spektrální poměr horizontální a vertikální složky ze záznamu šumu obvykle vykazuje významný pik reprezentující základní rezonanční frekvenci povrchových vrstev studovaného místa (Nakamura, 1989). V posledních asi 20 letech byla publikována řada studií efektu zesílení seizmických vln vycházejících ze záznamů zemětřesení nebo seizmického neklidu a též testy spolehlivosti získaných výsledků. Současně se řada výzkumníků zabývala studiemi, které teoreticky zdůvodňovaly výsledky získané metodou H/V (podle Triantafyllidis et al., 2006, dále např. Ansal, 2004).

Na obr. 1 je schématické znázornění projevu efektu zesílení ve svislém řezu. V horní části obrázku je situace, při níž seizmické vlny prochází sedimentární vrstvou (nasedající na nerovný horninový podklad) a jsou od povrchu odraženy zpět do sedimentárního prostředí. Na povrchu se postupně vytvoří složité pole vibrací, které odráží mimo jiné změna mocnosti sedimentů. V dolní části obrázku jsou do tohoto pole vibrací umístěny stavební objekty. Z obrázku je zřejmé, že seizmické zatížení jednotlivých objektů může být velice různé.

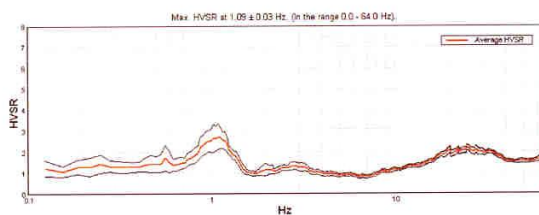
Ilustrativní příklad vypočtených spektrálních poměrů z naměřených dat pochází ze severní Itálie (Roverento). Testovaný bod se nachází v údolí s mocným aluviálními naplaveninami, v místě měření je mocnost sedimentů cca 80 m (obr. 2). Tyto sedimenty se v dané situaci na spektrálních poměrech H/V pro rozmezí 0 až 64 Hz zřetelně projevují pikem na frekvenci 1 Hz, a to jak při měření na volném povrchu (obr. 3), tak i při měření v budově (obr. 4). Další pik, který se na obr. 4 objevuje na hodnotě okolo 7 Hz, je spojován s vlastní frekvencí budovy (Tromino, 2006).



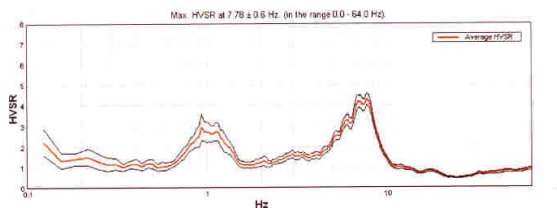
Obr.1 Schématická znázornění projevu efektu zesílení v zastavěné oblasti (podle Fäh, 2006).



Obr.2 Schéma situace při měření, umístění senzorů v budově a mimo ni (podle Tromino, 2006).



Obr.3 Spektrální poměry vypočtené ze záznamů pořízených měření na volném povrchu, mimo budovu (převzato z Tromino, 2006).



Obr.4 Spektrální poměry vypočtené ze záznamů pořízených měření v budově (převzato z Tromino, 2006).

Připomeňme, že pro spolehlivou kvantifikaci efektu zesílení v zastavěných oblastech je potřeba mít následující informace (podle Fäh, 2006):

- ☐ Záznamy seizmického neklidu (pořízené odpovídajícím aparaturním vybavením)
- ☐ H/V spektrální poměry seizmického neklidu
- ☐ Výsledky geofyzikálních metod
- ☐ Odpovídající numerické modely
- ☐ Záznamy slabých zemětřesení (seizmických jevů)

Použití metody H/V spektrálních poměrů v zastavěných oblastech

Příkladem použití metody H/V spektrálních poměrů v zastavěných oblastech nalezneme celou řadu. K měření se zpravidla využívají běžné přenosné seizmologické aparatury. Na konferenci v Ženevě (2006) byla firmou Tromino® Grilla představena kompaktní aparatura o rozměrech 10x14x7,7 cm (obr. 5), která provádí pořizování digitálních dat s vysokou rozlišitelností a předzpracování informací (paměť až 2 GB). Její frekvenční rozsah je 0,1 až 256 Hz, což umožňuje pořizovat záznamy jak slabých seizmických jevů, tak i šumů v dobré kvalitě. Měření a analýza šumů (pasivní zdroj vibrací) mohou tedy být výhodně využity pro stanovení rezonanční frekvence budov a základových půd. Zpracovatelský software Grilla umožňuje provádět spektrální analýzy, výpočty poměrů spekter H/V, převzorkování dat a připravovat grafické a ASCII výstupy.



Obr.5 Kompaktní aparatura pro měření a analýzy seizmických šumů metodou spektrálních poměrů H/V italské firmy Tromino® Grilla (převzato z firemních materiálů Tromino, 2006).

Příkladem z literatury je realizace seizmického mikrorajónování z oblasti východních Pyrenejí (Macau et al., 2006). K získání informací o základní frekvenci studovaného místa bylo využito měření slabých seizmických jevů a jejich následná interpretace poměrů spekter H/V (Nakamurova metoda). Na obr. 6 je příklad výsledku interpretace pro údolí v oblasti Cerdanya, v němž je dokladováno cca 800 m miocenních sedimentů. To se ve spektrálních poměrech projevuje píky s velice nízkými hodnotami základních rezonančních frekvencí. Autoři se dále zabývají stanovením přírůstku intenzity zemětřesení mezi místem bez sedimentárního pokryvu a místem s pokryvem. Pro oblast Cerdanya uvádí přírůstek makroseismické intenzity o + 0,5 pro místa v miocenních sedimentárních pánvích a přírůstek + 1 pro oblasti, v nichž je podkladová hornina pokryta měkkými kvarténními sedimenty o mocnosti 5 až 20 m.

Měření seizmického neklidu ve Florencii, Itálie, bylo provedeno na 155 místech. Z dvacetiminutových záznamů pořízených při vzorkovací frekvenci 128 Hz aparaturou Tromino byly metodou spektrálních poměrů H/V stanoveny hodnoty frekvencí prvních (a též následných) rezonančních piků a také byly dopočteny hodnoty faktoru zesílení. Výsledek grafického zpracování je na obr. 7. Z něho je patrné, že hodnoty frekvencí tvoří shluky, které byly interpretovány za použití geologických informací. Podrobnější popis provedeného mikrorajónování, založeného na zpracování šumových měření, je provedeno v práci D'Amica et al. (2006).

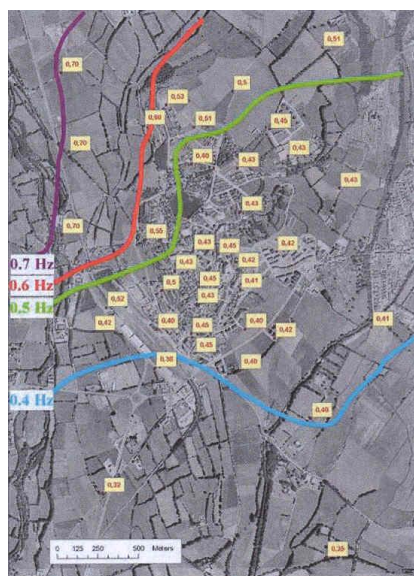
Podobných příkladů pro mikrorajónování v zastavěných oblastech lze nalézt v literatuře celou řadu. Většina příspěvků ukazuje, že pro danou oblast existují dobré relace mezi základními rezonančními frekvencemi a mocností sedimentárních (mnohdy daného geologického stáří) vrstev pokrývajících podkladový horninový komplex. Na obr. 7 je příklad takovéto korelace z měření v Bukurešti, Rumunsko (Mândrescu et al., 2006). Faktor zesílení definovaný Okamotoem (1973) se pro Bukurešť pohybuje v rozmezí 3,5 až 4,1.

Wenzel a Achs (2006) poukazují na fakt, že efekt zesílení seizmických vln má významný vliv i na hodnocení seizmického zatížení budov a konstrukcí. To je zvláště významné i z ekonomického hlediska pro mnohopatrové budovy. V příspěvku popisují použití SEISMID-metodiky ve vídeňské pánvi. Jde o komplexní metodiku, která zahrnuje terénní měření pro stanovení parametrů horninového prostředí, inventarizace existujících objektů, hodnocení zranitelnosti, hodnocení lokálního zesílení a studie pro mikrozonování. Výsledkem je realizace přehledné informace v prostředí GIS.

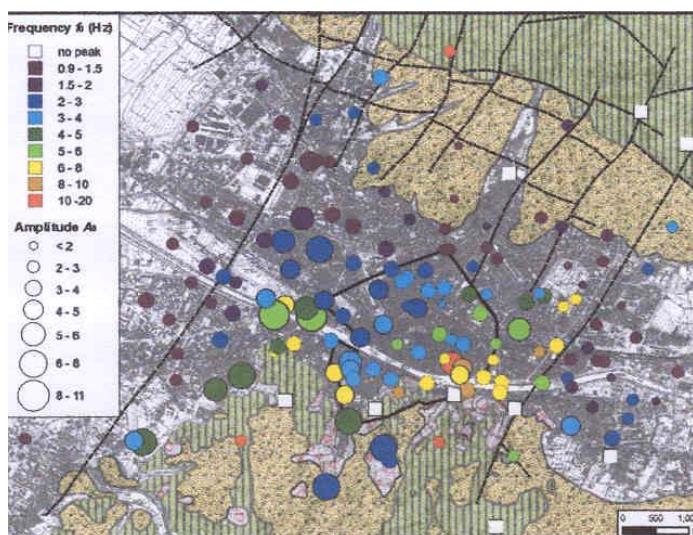
Efekt zesílení seizmických vln na povrchu v karvinské oblasti

Studiu důlně indukované seismicity v karvinské oblasti české části Hornoslezské pánve je věnována patřičná pozornost, a to především s ohledem na bezpečnost hornické práce. Již delší dobu je odpovídající pozornost věnována i projevům na povrchu, tj. seizmickému zatížení stavebních objektů na poddolovaném území a v jeho okolí. Z hlediska seizmických účinků na povrch v karvinské oblasti mají význam seizmické jevy s energií nad $1 \cdot 10^5$ J (přibližně odpovídá 3° makroseismické stupnice MSK-64), které vyvolávají i pozorovatelné vibrace půdy na povrchu. Ročně vznikne těchto nejintenzivnějších jevů cca 100 až 300. Z výzkumných prací zabývajících se touto problematikou v poslední době uveďme práce Kalába a Knejzlíka (2002), Kalába (2004), Doležalové a kol. (2004), Salajky a kol. (2005), Holečka a kol. (2006) a Kalába a kol. (2006d). Všechny tyto práce dokladují občasný vznik intenzivních důlně indukovaných seizmických jevů, při kterých jsou v objektech naměřeny velikosti maximálních amplitud rychlosti takové, že podle ČSN 73 0040 *Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva* (uvažujeme-li vyvolaný jev stejně jako odstřel trhavín) jsou překročeny mezní hodnoty pro první stupně škod na objektech, zvláště nejméně odolných vibracím (třída odolnosti A).

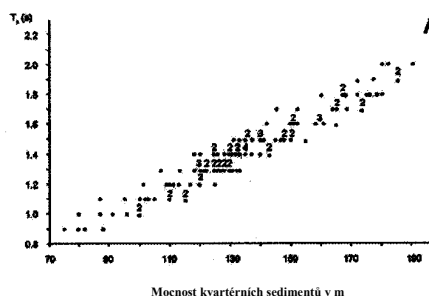
Již první výpočty na archivních datech ukázaly na rozdílnost spektrálních poměrů H/V na jednotlivých stanovištích, z čehož odvozujeme, že tyto poměry ponесou mj. informaci o vlivu lokální geologie na záznam (Kaláb a Knejzlík, 2006a-c). Tato informace se bude zřejmě projevovat především v oblasti nižších frekvencí, protože píky na vyšších frekvencích jsou pravděpodobně vliv odezvy stavebního objektu, v němž byly seizmometry instalovány.



Obr.6 Příklad výsledků interpretace pro údolí v oblasti Cerdanya (Puigcerdà) s vyznačením izolinií základních rezonančních frekvencí (převzato z Macau et al., 2006).

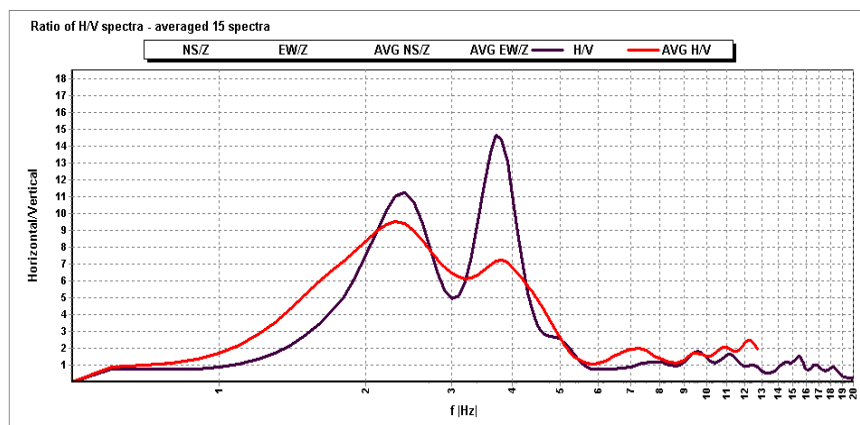


Obr.7 Mapa se zobrazením výsledků pro metodu spektrálních poměrů (základní rezonanční frekvence f_0 a faktory zesílení A_s , převzato z D'Amico et al., 2006).



Obr.7 Příklad korelace mezi převládající základní periodou v měřeném místě [s] a mocností kvartérních sedimentů [m] v Bukurešti (převzato z Mândrescu et al., 2006).

Zpracovatelský software, vyvinutý na ÚGN a označovaný jako MISS (Mining Induced Seismic eventS), je používán pro výzkum spektrálních vlastností důlně indukovaných seizmických jevů z karvinské oblasti. Tento programový systém pracuje v prostředí Windows a v současné době obsahuje tři základní části (Kaláb & Knejzlik, 2006b): manipulaci s vlnovým obrazem v časové oblasti, frekvenční a polarizační analýzu. Frekvenční analýza je pro daný jev zahájena výběrem intervalu pro zpracování, jeho doplněním na délku 2^n nulami a upravením signálu časovým oknem (Hammingovo či jiná). Výpočet spekter pro jednotlivé složky je proveden algoritmem FFT, získaná spektra jsou vyhlazena za použití splinových funkcí (parametry zadávané operátorem). Ze spekter dvou horizontálních složek je zprůměrováním vypočtena složka horizontální a poté je vypočten poměr spekter H/V (horizontální ku vertikální složce). Získaný poměr spekter pro jednotlivé jevy lze postupně přidávat ke zpracovanému průměrovanému poměru (obr. 8).



Obr.8 Příklad výstupu při výpočtu zprůměrovaných poměrů spekter H/V z programu MISS (hnědě – poslední přidávané spektrum, červeně – zprůměrovaná hodnota).

Hlavní poznatky z dosavadních experimentálních měření a interpretací jsou potvrzeny i matematickým modelováním vlivu lokální geologie na velikosti seizmických projevů na povrchu. K tomuto účelu byly sestaveny jednoduché modely, jejichž geometrie vycházela z reálných vlastností hornin na Karvinsku. Parametrická studie byla zaměřena na posouzení změn velikosti seizmických účinků v důsledku změny mocnosti sedimentárního pokryvu pod studovaným objektem. Použit byl

programový systém Plaxis (Holandsko, www.plaxis.nl), výpočty vibrací je určen dynamický modul. Systém pracuje na principu konečných prvků (2D).

První matematické modely hodnotily změnu mocnosti sedimentárního pokryvu na velikost seizmického projevu na povrchu. Zatímco změna mocnosti kvartérních sedimentů v rozmezí 2,5 – 11,5 m se v modelech situacích téměř neprojevila, změna mocnosti terciérních sedimentů v rozmezí 25 – 70 m prokázala změny v charakteru časového vývoje signálu a též v maximálních hodnotách vibrací (např. Hruběšová a Kaláb, 2004, 2005). Další práce byly soustředěny na modelování maximálních hodnot horizontálních posunů, rychlostí a zrychlení pro varianty s vlivem podzemní vody. Maximální hodnoty těchto veličin jsou pro všechny modelované varianty větší než pro variantu modelu bez vlivu vody a se vzrůstající hloubkou hladiny podzemní vody pod základovou spárou mají v zásadě ne příliš výrazný klesající trend. Získané výsledky modelování změny úrovně hladiny podzemní vody ukazují, že je nutno brát i tento parametr do úvahy při hodnocení aktuálního seizmického zatížení daného místa (např. Hruběšová et al., 2006).

Závěr

Z pohledu seizmického zatížení stavebních objektů na povrchu důlně indukovanou seizmicitou na Karvinsku lze očekávat úspěšné využití metody spektrálních poměrů H/V pro stanovení míst na povrchu se zesilujícími účinky. Jednou z pionýrskou prací s využitím důlně indukované seizmicity jako zdroje pro vstupní data v metodě H/V je článek Olszewské a Lasockého (2004). Pro oblast Karvinska s využitím záznamů důlně indukovaných seizmických jevů byly první práce o aplikaci jmenované metody publikovány Kalábem a Knežlikem (2006a, 2006b, 2006c).

V současné době se seizmické účinky na povrchové objekty v OKR v postižených oblastech monitorují solitérními stanicemi. Tyto stanice jsou většinou umístěny v budovách obecních úřadů. Není však známo, jak jsou skutečné hodnoty rychlostí kmitání ovlivněny site effectem a tudíž jak jsou reprezentativní pro stanovení seizmického zatížení dalších objektů v obci. Stav, kdy by byl individuálně monitorován každý ohrožený objekt, je technicky a ekonomicky nerealizovatelný. V rámci projektu GAČR jsou připravovány dva experimenty, které ovlivní další výzkumné práce směřující k zlepšení informací o seizmickém zatížení objektů v karvinské oblasti. Prvním experimentem bude provedení posouzení platnosti naměřených dat pro okolí, druhým realizace „profilového“ měření na lokalitě s dobře známou mělkou geologií, doloženou vrtným a karotážním průzkumem, což umožní „kalibraci na reálných parametrech ze studované oblasti“.

V článku je provedeno stručné shrnutí poznatků k použití metody poměrů spekter H/V v zastavěných oblastech s využitím různých zdrojů seizmických vln. Dobrá znalost vlastností sedimentárního pokryvu a detailní interpretace přenosových vlastností pro seizmickou energii přispívá k přesnějšímu mikrorajónování (posuzování míst z hlediska seizmického zatížení). Mnohé práce i v oblasti legislativy pro uvádění EUROKÓDU 8 do praxe poukazují na nutnost poznání charakteristik sedimentů ovlivňujících seizmické vlnění (např. Kappos et al., 1998, Janotka et al., 2006, Wenzel a Achs, 2006).

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu GAČR 105/07/0878 Studium seizmických účinků v okolí seizmické stanice v závislosti na místních geologických podmínkách.

Literatura

- [1] Abbott, R. et al. (2001): Analysis of Shallow Site Response to LARSE-2 Blasts at Precarious Rock Sites Near the San Andreas Fault. Final Report, <http://quake.seismo.unr.edu/ftp>.
- [2] Ansál, A. – ed. (2004): Recent Advance in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/Boston/London.
- [3] Borcherdt, R.D. (1970): Effect of Local Geology on Ground Motion near San Francisco Bay. Bulletin of the Seismological Society of America, 60(1), 29-61.

- [4] D'Amico, V., Albarello, D., Baliva, F., Picozzi, M. & Agili, F. (2006): Mapping Soft Sediments Thickness in the Florence Urban Area (Italy) using Seismic Noise Measurements. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Proceedings on CD, Geneve, Switzerland, poster.
- [5] Doležalová, H., Kaláb, Z. & Knejzlík, J. (2004): Experimentální měření rychlosti kmitání na povrchu v karvinské oblasti. Geotechnika 2004, sborník konference, ORGWARE a BERG TU Košice, ISBN 80-8073-151-9, 471-476.
- [6] Fäh, D. (2006): Evaluating Site Effect in Areas of Low Seismicity. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Proceedings on CD, Geneve, Switzerland, oral presentation.
- [7] Holečko J., Kaláb, Z., Knejzlík J. & Ptáček, J. (2006): Rychlost kmitání povrchu v karvinské části hornoslezské pánve. Uhlí – Rudy – Geologický průzkum, č. 2/2006, 34-39.
- [8] Hruběšová, E. & Kaláb, Z. (2004): Modelování účinků důlně indukované seizmicity na povrchové objekty programem Plaxis. Sborník příspěvků 32. konference se zahraniční účastí Zakládání staveb-Foundations-Grundbau, Brno, 171-176.
- [9] Hruběšová, E. & Kaláb, Z. (2005): Example of Modeling of the Mining Induced Seismicity Impact on the Building Using Numerical System Plaxis. In: Konečný, Pa. (ed): EUROCK 2005 – Impact of Human Activity on the Geological Environment, A.A.Balkema Publisher, Leiden, 213-218.
- [10] Hruběšová, E., Kaláb, Z. & Vojtasík, K. (2006): Modelování vlivu podzemní vody na velikost seizmických projevů na povrchu. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.1/2006, 103-108.
- [11] Janotka, V., Viskup, J., Pandula, B. & Lesso, I. (2006): Soil Profiles and Seismic Loading. Metalurgija 45, 127-130.
- [12] Kaláb, Z. (2004): Několik poznámek k seizmickým projevům důlně indukovaných jevů na povrchu. Sborník semináře Betonové konstrukce v extrémních podmínkách, Česká betonářská společnost ČSSI a ČBS Servis, s.r.o., Praha, 131-138.
- [13] Kaláb, Z. & Knejzlík, J. (2002): Systematic Measurement and Preliminary Evaluation of Seismic Vibrations Provoked by Mining Induced Seismicity in Karviná Area. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-24(340), 95-103 .
- [14] Kaláb, Z. & Knejzlík, J. (2006a): Field measurement of surface seismic vibrations provoked by mining in Karvina region Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-29(395), Warszawa, 185-194.
- [15] Kaláb, Z. & Knejzlík, J. (2006b): Analýza projevů důlně indukovaných jevů z karvinské oblasti ve frekvenční oblasti. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 147-154.
- [16] Kaláb, Z. & Knejzlík, J. (2006c): Response of Selected Sites in Karviná Region During Mining Induced Seismic Events. Abstract in: First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology – Abstract book, Geneve, Switzerland, 320-321.
- [17] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Holub, K., Doležalová, H., Holečko, J. & Ptáček, J. (2006d): Vliv geologických faktorů na intenzitu účinků důlně indukovaných seizmických jevů na povrchové objekty v karvinské oblasti. Závěrečná výzkumná zpráva k řešení projektu GAČR 105/03/0078, Ústav geoniky AVČR Ostrava a OKD, DPB, a.s. v Paskově, 46+11.
- [18] Kappos, A.J., Chryssanthopoulos, M.K. & Dymiotis, C. (1998): Probabilistic Assessment of Eurocode 8 Provisions for Confined Members. In: Booth, E. (ed.): Seismic Design Practice into the Next Century. Balkema, Rotterdam, 427-434.

- [19]Macau, A. et al. (2006): Seismic Microzonation in Two Valleys of the Eastern Pyrenees: Andorra nad the Cerdanya. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Proceedings on CD, Geneve, Switzerland, paper No. 655.
- [20]Mândrescu, N., Radulian, M. & Marmureanu, G. (2006): Large Vrancea Intermediate-Depth Earthquakes and Site Effects Evaluation in Bucharest Urban Area. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Proceedings on CD, Geneve, Switzerland, paper No. 911.
- [21]Nakamura, Y. (1989): A Metod for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 1.
- [22]Okamoto, S. (1973): Introduction to Earthquake Engineering. John Willey and Sons, New York – Toronto.
- [23]Olszewska, D. & Lasocki, S. (2004): Application of the Horizontal to Vertical Ratio Technique for Estimating the Site Characteristics of Ground Motion caused by Mining Induced Seismic Events. Acta Geophysica Polonica. Vol. 52, No. 3, 302-318.
- [24]Salajka, V., Kanický, V. & Hradil, P. (2005): Analýza vlastního kmitání dvanáctipodlažního panelového domu. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební), roč. V, č.2/2005, 171-174.
- [25]Triantafyllidis, P. Theodulidis, N, Savvaidis, A., Pappaioannou, Ch. & Dimitriu, P. (2006): Site Effects Estimation using Earthquake and Ambient Noise Data: The Case of Lefkas Town (Greece). First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Proceedings on CD, Geneve, Switzerland, paper No. 1249.
- [26]Tromino ® (2006): The New Generation of Seismic Tremor Acquisition Systems. Informative Prospectuses. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneve, Switzerland.
- [27]Wenzel, H. & Achs, G. (2006): Determination of Site Effects by Ambient Vibration Monitoring. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Proceedings on CD, Geneve, Switzerland, paper No. 1320.